

基于互感耦合原理的传感器设计

杨成忠, 陈高强

(杭州电子科技大学 自动化学院, 浙江 杭州 310018)

摘要:为精确测得应用于电子标签防盗系统(EAS)中的电子防盗标签的质量参数,根据标签的结构,提出了利用互感耦合原理对标签的质量参数进行检测的方法。研究了单线圈传感器模型和双线圈传感器模型结构特点,并分别对其进行了 Matlab 仿真分析。同时对双线圈传感器进行了设计制作和实验测试。研究表明,双线圈传感器检测效果好,而且该传感器现已成功应用于电子标签检测系统中。

关键词:电子标签防盗系统;互感耦合;非接触;天线

中图分类号:TM93

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)05-0590-04

Design of sensor based on mutual inductance principle

YANG Cheng-zhong, CHEN Gao-qiang

(College of Automation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to measure the quality parameters of the electronic anti-theft label used in an electronic article surveillance(EAS) system, according to its structure, the method utilizing the principle of mutual inductance to measure the quality parameters was thought out. The features of the model of monocoil sensor and double-coil sensor were studied, and their simulation on Matlab was made out. Finally, a double-coil sensor in lab was produced, and its test was carried out with good effect. The sensor has been successfully applied in detection system of anti-theft label.

Key words: electronic article surveillance(EAS); mutual inductance; non-contact; antenna

0 引言

电子防盗标签是电子标签防盗系统(EAS)中一个重要的组成部分。近几年,标签制造行业不断升温,发展势头迅猛。但是很多标签制造厂家在产品质量检测过程中普遍存在检测效率低、误解率高等特点^[1-4]。

为满足制造厂家提出的检测精确,同时不能影响标签的产品质量等要求,本研究根据标签特有的 LC 结构特点,提出两种非接触式传感器的设计方法,并配合信号发生和处理电路进行了测试。

传感器接收发射系统传来的扫频信号,在天线辐射的近场区域^[5]形成一个检测区域,当电子标签经过检测区域时,传感器天线就会因标签的谐振而感应到电压或者电流信号的变化,然后传感器把这个信号传

回到信号处理系统做信号分析,就可以得到该标签的谐振频率^[6-8]。

本研究对两种传感器进行理论分析 Matlab 仿真,最后给出实验结果。

1 模型建立

1.1 单线圈传感器模型

单线圈传感器结构简单,只是一个简单的线圈,外接一条信号输入端和一条信号输出端,如图 1 所示。

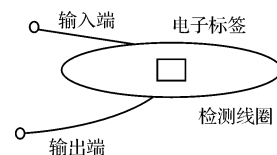


图 1 单线圈传感器结构

输入端接收扫频信号,输出端传出采集信号。为方便计算,扫频信号源用 U_s 和内阻 R_s 替代。图1的等效电路图如图2所示。

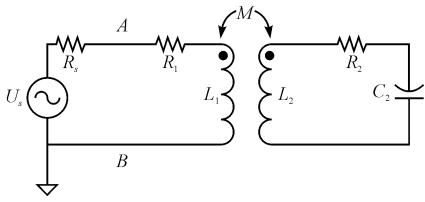


图2 图1的等效电路图

图2中,A点表示检测电路的检测点。激励信号源 U_s 在一定频率范围内进行扫频,A点的电压幅值将随着扫频频率的变化而改变。

为更好地计算A点电压,把标签用反映阻抗 Z_{ref} 的形式作用于检测电路,因此单线圈传感器模型就可以简化成如图3所示的简化模型结构。

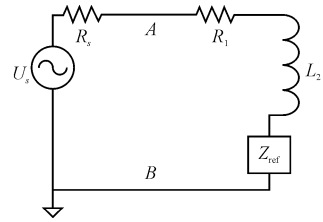


图3 简化模型图

AB 两端的阻抗为:

$$Z_{AB} = R_1 + j\omega L_1 + Z_{ref} \quad (1)$$

其中:

$$Z_{ref} = \frac{\omega^2 M^2}{Z_{22}}, Z_{22} = R_2 + j(\omega L_2 - 1/\omega C_2)$$

AB 端的电压:

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_s \frac{Z_{AB}}{R_s + Z_{AB}} \quad (2)$$

对式(2)两端取模,求得 AB 两端的电压为:

$$|\dot{U}_{AB}| = |\dot{U}_s| \left| 1 - \frac{R_s}{R_s + R_1 + \frac{\omega^2 M^2 R_2}{R_2^2 + (\omega L_2 - 1/\omega C_2)^2} + j\left(\omega L_2 - \frac{\omega^2 M^2 (\omega L_2 - 1/\omega C_2)}{R_2^2 + (\omega L_2 - 1/\omega C_2)^2}\right)} \right| \quad (3)$$

可见, \dot{U}_{AB} 的幅值成为以 ω 为变量的函数,当式中满足 $\omega L_2 - 1/\omega C_2 = 0$ 时,扫频的频率跟标签的频率相同,标签发生谐振,此时 U_{AB} 的幅值也最小^[9-10]。

1.2 双线圈传感器模型

双线圈传感器结构是一对偶线圈,输出端和输入端分别接在一个线圈上,如图4所示。

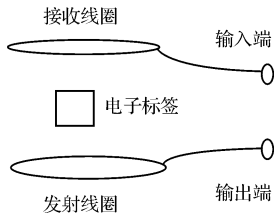


图4 双线圈传感器结构

相应地,扫频信号源用 U_s 和内阻 R_s 替代。图4的等效电路图如图5所示(其中 R_1, R_3 是线圈内阻)。

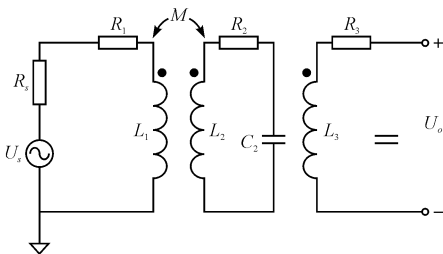


图5 图4的等效电路

当检测区域没有标签时,输出端电压 U_0 幅值很小。当检测区域有合格的标签存在时,由于输入端线圈在检测区域的磁链受到标签的扰动而发生变化,导

致输出端电压或者电流分量也有相应的变化。因此,可以得到双线圈传感器模型的简化结构如图6所示。

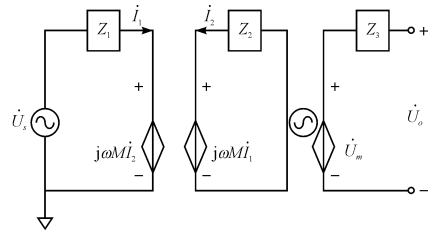


图6 双线圈模型的简化结构

电路中阻抗分别为:

$$Z_1 = R_s + R_1 + j\omega L_1 \quad (4)$$

$$Z_2 = R_2 + j(\omega L_2 - 1/\omega C_2) \quad (5)$$

$$Z_3 = R_3 + j\omega L_3 \quad (6)$$

在传感器检测区域没标签存在时,输出端电压仅受发射线圈的影响,输出端电压为:

$$\dot{U}_o = j\omega M_1 \dot{I}_1 = \frac{j \dot{U}_s \omega M_1}{Z_1} \quad (7)$$

在有防盗标签存在时,输出端电压由发射线圈和标签上的线圈的影响叠加而成:

$$\dot{U}_o = j\omega M_1 \dot{I}_1 + j\omega M \dot{I}_2 = \frac{j \dot{U}_s \omega M_1 Z_2}{Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2} + \frac{\dot{U}_s \omega M}{Z_1 Z_2 + \omega^2 M^2} \quad (8)$$

2 两种检测方法的仿真

以 4.5 MHz 类型的标签为被测对象,生产该类型

标签的电容额定值为 120 pF , 线圈的电感值为 $10.4 \text{ } \mu\text{H}$, 线圈内阻为 $0.8 \text{ } \Omega$, 对应于等效电路中的参数, $C_2 = 120 \text{ pF}$, $L_2 = 10.4 \text{ } \mu\text{H}$, $R_2 = 0.8 \text{ } \Omega$ 。取检测线圈的电感值 $L_1 = 5 \text{ } \mu\text{H}$, 线圈内阻 $R_1 = 1 \text{ } \Omega$, 激励信号源 $U_s = 1 \text{ V}$, 信号源内阻 $R_s = 51 \text{ } \Omega$, 耦合系数 $K = 0.1$, 互感系数 M 可由下式: $k = M / \sqrt{L_1 L_2}$ 求得。

2.1 单线圈传感器模型仿真

根据式(3), \dot{U}_{AB} 的模即 A 点电压幅值。在 $4.3 \text{ MHz} \sim 4.8 \text{ MHz}$ 的扫频范围内对式(3)进行 Matlab 仿真, 结果如图 7 所示。

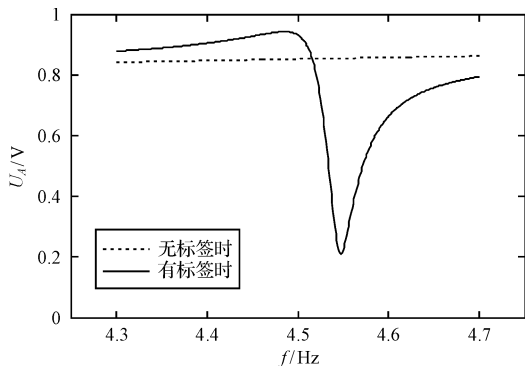


图 7 单线圈检测输出端仿真图

在图 7 中, 实线部分在频率 4.5 MHz 点附近存在一个类似振荡的扰动, 表示检测区域有合格的标签的存在, 也即 A 点电压幅频响应曲线; 而虚线部分为一条直线表示此时没有标签, 或者是个不合格的标签。

记实线的幅值的最大值、最小值对应的频率为 F_{\max} , F_{\min} , 并定义 $F_{\text{avg}} = (F_{\max} + F_{\min}) / 2$ 为标签的谐振频率的测量值。图中: $F_{\max} = 4.4853 \text{ MHz}$, $F_{\min} = 4.5388 \text{ MHz}$, 而标签标准的谐振频率为 4.5 MHz 。因此测得的绝对误差分别为 0.0147 MHz 和 0.0388 MHz , 相对误差分别为 0.33% 和 0.86% 。

另外, $F_{\text{avg}} = 4.51205 \text{ MHz}$ 和标签谐振频率的绝对误差为 0.01205 MHz , 相对误差只有 0.26% 。在仿真条件下, F_{avg} 具有更小的误差。因此, 在误差允许范围 ($\pm 3\%$) 内, 单线圈检测采用均值 F_{avg} 来反映标签的谐振频率。

2.2 双线圈传感器模型仿真

在参数不变的情况下, 本研究分别根据式(4, 5, 6, 7)和式(4, 5, 6, 8)作出输出端的 Matlab 仿真, 得到的输出端电压的幅频特性曲线如图 8 所示。

图 8 中实线和虚线部分分别表示为: 在检测区域中存在合格和不合格(或者无)的电子标签的情况下输出端的幅频特性曲线。记实线的最高幅值对应的频率

F 为标签的谐振频率。仿真图 8 中, $F = 4.50402 \text{ MHz}$, 测得的绝对误差为 0.00402 MHz , 相对误差为 0.31% , 在误差允许范围 ($\pm 3\%$) 之内, 达到了检测的要求。

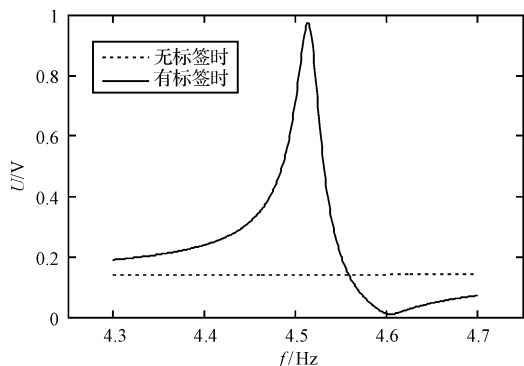


图 8 双线圈检测输出端仿真图

3 实验测试

从两种仿真结果看, 两种传感器构造都能够在误差允许的范围测量标签的谐振频率, 但是经后来算法研究, 单线圈传感器对标签制造厂家后续追加的测量频率的要求同时, 对要测出标签的品质因数和有效容积两个参数的条件无法满足, 因此本研究只选择双线圈传感器的结构进行制作, 并进行了实验测试。选用铜丝绕成 $10 \text{ cm} \times 10 \text{ cm}$ 大小的线圈 2 个, 每个绕 10 圈。一个作为输入端天线, 由扫频芯片定时地给它发送扫频信号, 另一个作为输出端天线, 用一个电阻把输出端连接起来, 然后在有标签和无标签的两种情况下, 用示波器查看输出端电压的变化。其中扫频信号是扫频芯片 AD9830 在 1 s 的时间内, 以 1 kHz 为步进, 从 $4 \text{ MHz} \sim 5 \text{ MHz}$, 分 1000 个频率发送的。

在检测区域有标签和无标签存在的情况下, 输出端电压的波形是一个脉冲波和一条值为零的水平线, 分别如图 9(b)、(a) 所示。测试结构很好地验证了仿真的结果。

另外本研究对这个信号进行 A/D 采样, 并把采集到的数据传到 PC 上保存, 再利用 Matlab 绘制的图形并与标签的特性曲线一起对比, 对比曲线如图 9(c) 所示, 结果除了在放大倍数上没有仿真效果佳, 其余都吻合得很好。

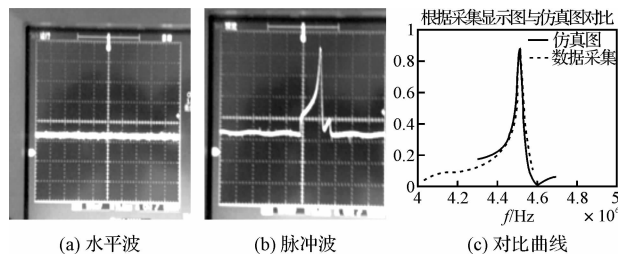


图 9 测试结果图

4 结束语

从上面实验结果可以看出,单线圈和双线圈传感器模型都能够实现对标签谐振频率的非接触式检测,但是从满足产家测试需求方面,双线圈传感器更加适合应用于工程,而且双线圈传感器现在已经应用到标签自动检测系统中,从标签制造厂家的反应情况看,效果明显,系统测试准确而且检测效率很高。

参考文献(References):

- [1] 吕立波. 电子商品防盗技术及其应用研究[J]. 商场现代化,2007(498):20-21.
- [2] European Radio communications Committee. Propagation Model and Interference Range Calculation for Inductive Systems 10 kHz ~ 30 MHz[S]. Marbella: ERC with CEPT, 1999.
- [3] 沈海洋. 中国标签市场的发展趋势分析[J]. 网印工业, 2007(11):33-39.

- [4] GISELHER H. Magnetic materials for electronic article surveillance[J]. **Journal of Magnetism and Magnetic Materials**,2003(254):598-602.
- [5] 赵万年. 电子标签天线的研究与设计[D]. 西安:西北大学信息科学与技术学院,2009:8-12.
- [6] 周晓光,王晓华. 射频识别(RFID)技术原理与应用实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2006.
- [7] KIM C, LEE I, CHUNG Y C, et al. Design of amorphous magnetic materials for high frequency sensors based upon permalloy characteristics[J]. **Materials Science and Engineering B**,2000,76(3):211-216.
- [8] COPELAND R L, KOPP M, O' HANDLEY R C. Analysis of a magnetoelastic sensor magnetics[J]. **IEEE Transactions**,1994,30(5):3399-3402.
- [9] 李瀚荪. 简明电路分析基础[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [10] 潘震. 商品防盗数字信号接收器的研究与设计[D]. 郑州:郑州大学信息工程学院,2004:5-10.

[编辑:李辉]

(上接第576页)

表2 该项目研制产品与同类型其他产品对比

主要技术、经济指标	本项目 研制产品	国内某同 类型产品
最高刺绣速度/(r·min ⁻¹)	800	650
每万针断线次数	10次	15次以上
连续亮片绣无漏片试验基数	10 000片	5 000片
亮片装置稳定运行使用寿命/h	8 640	180
亮片装置升降	是	否
亮片装置类型	双片	单片
切片类型	电机	针夹

4 结束语

在传统绉绣机的基础上,本研究通过对X向移动单元的创新改进,使X向移动组件的总质量比原来减少近50%,并采用高精度的传动措施,减小了运动惯量和振动、噪声。此外,优化设计的罗拉机构及控制软件,进一步提高了绉绣质量。所研制产品的试验及实际应用结果表明了设计合理,振动和噪声的改善明显,在显著提高绣品质量的同时,刺绣速度比原来提高25%以上。

参考文献(References):

- [1] 张亮. 经济型电脑绉缝机控制系统[J]. 兵工自动化, 1998(3):31-32.
- [2] 何仲凯. 嵌入式数控系统的研究及其在自动绉绣中的应用[D]. 广州:广东工业大学信息工程学院,2006.
- [3] 刘文超. 电脑绉缝机运动控制系统研究[D]. 青岛:青岛科技大学机电工程学院,2006.
- [4] 李景科,李振坤. 数控伺服电脑绉缝系统设计[J]. 现代计算机,2005(5):55-58.
- [5] 高鹏翔. 独立绉缝机计算机控制系统的设计[J]. 纺织学报,2001,22(1):48-57.
- [6] 刘伟,曲文元,秦勃. 多针绉缝机控制系统的设计与实现[J]. 计算机系统应用,2005(3):57-59.
- [7] 肖兵,简嘉亮. 绉缝机运动控制器的设计与实现[J]. 电气自动化,2007,29(3):46-47.
- [8] 张树美. 智能控制绉缝花型不变形方法的研究[J]. 青岛大学学报,2002,17(2):71-73.
- [9] 唐露新,刘志远,吴黎明,等. 基于视觉测量的绉缝加工智能控制[J]. 机床与液压,2006(7):181-183.
- [10] 浙江盛名机电制造有限公司. GG758型系列Z轴全动亮片电脑绉缝机企业标准[M]. 浙江盛名机电制造有限公司,2010.

[编辑:李辉]